3 Choix de l'accumulateur

3.1 Critères de choix

Dans le choix de l'accumulateur il faut considérer plusieurs paramètres. Entre les plus importants il faut mentionner:

a) Pressions de travail minimal P_1 et maximal P_2

La valeur de P_2 doit être inférieure ou égale à la pression de travail maximale de l'accumulateur choisi, pour d'evidentes raisons de sécurité.

La valeur de P_1 doit être contenu dans le rapport $\frac{P2}{Po} \leqslant 4$

Dans cet intervalle le rendement et la durée de l'accumulateur sont au maximum. (La détermination de la pré-charge Po est traitée au chap. 3.2).

b) Volume $\triangle V$ du liquide à être accumulé ou prélevé.

Il s'agit d'une donnée indispensable, avec la pression maximale et minimale, pour le dimensionnement de l'accumulateur.

c) Manière et/ou champ d'utilisation

Il est important d'établir si pendant le cycle, le gaz est soumis à une transformation isothermique ou adiabatique:
Si la compression (ou l'expansion) est lente (supérieure à 3 minutes), elle permet au gaz un maintien de la température sensiblement constante, on a la transformation **ISOTHERMIQUE.** (Stabilisateur de pression, équilibrage de forces, compensateur de volume, alimentation dans les circuits de lubrification).
Dans tous les autres cas (réserve d'énergie, compensateur de pulsations, absorbeur de coup de bélier, etc...) l'échange de chaleur avec l'ambiance est négligeable à cause de la vitesse de l'opération. Dans ce cas on a alors, dans le même temps, variation de pression et de température du gaz et la transformation est **ADIABATIQUE.**
Comme indication on peut dire que la transformation adiabatique a lieu si la durée de la compression ou de l'expansion est inférieure à 3 minutes.

d) Température de travail

Elle peut être déterminante pour le choix des matériaux (ve (vessie, reservoir) et elle peut aussi avoir de l'influence sur la pression de pré-charge et donc sur le volume de l'accumulateur.

e) Type de liquide

Il est déterminant pour le choix des matériaux.

f) Débit maximal demandé

A égalité de $\triangle V$ demandé, la dimension ou le raccordement de l'accumulateur peuvent varier en fonction du débit instantané nécessaire.

g) Lieu d'installation

Il est important d'établir le Pays où l'accumulateur sera utilisé et par conséquence la réglementation à respecter.

Compte tenu de ce qu'on a dit plus haut, l'accumulateur sera complètement défini avec son volume et la pression de précharge, en fonction de l'application.

3.2 Pression de précharge

Le choix de la pression de pré-charge de l'accumulateur est fondamentale pour obtenir le rendement maximal, en travaillant dans le même temps à condition de ne pas compromettre la durée de ses composants.
En théorie, on a le maximum d'accumulation (ou de restitution) de liquide, avec une pression de pré-charge Po le plus prés possible de la pression minimale utile de travail.
Pratiquement pour avoir une certaine marge de sécurité et éviter la **fermeture de la soupape de fond** pendant le travail, on utilise (sauf cas particuliers ci-dessous spécifiés) la valeur:

$$P_o = 0{,}9\ P_1$$

Les valeurs limites de Po sont: **Po mini** $\geqslant 0.25 \times P_2$

Po maxi $\leqslant 0.9 P_1$

On a des valeurs particulières pour:

Compensateur de pulsations et amortisseurs

$P_o = 0{,}6 \div 0{,}75\ P_m$ ou $P_o = 0{,}8\ P_1$

où:

P_m = pression moyenne de travail.

Absorbeur de coups de bélier

$P_o = 0{,}6 \div 0{,}9\ P_m$

où:

P_m = pression moyenne de travail à débit constant.

Accumulateur + bouteilles additionnelles

$P_o = 0{,}95 \div 0{,}97\ P_1$

La valeur Po devra être en rapport avec la **TEMPERATURE MAXIMALE DE TRAVAIL PREVUE PAR L'UTILISATEUR.**

Le contrôle ou le gonflage de l'accumulateur se réalise toujours à température différente des températures de travail θ_2 et donc la valeur Po à la température de contrôle θ_c devient:

$$P_{oc} = P_o \frac{\theta_c + 273}{\theta_2 + 273}$$

pour $\theta_c = 20°C$ on a:

$$P_{o(20°)} = P_o \frac{293}{\theta_2 + 273}$$

N.B. *La pression de pré-charge des accumulateurs fournis directement par l'usine est rapportée à une température de 20°C.*

3.3 Principes de calcul

La compression et l'expansion du gaz dans l'accumulateur ont lieu suivant la relation de Boyle et Mariotte sur le changement d'état des gaz parfaits

$$P_o \cdot V_o^n = P_1 \cdot V_1^n = P_2 \cdot V_2^n$$

Dans le diagramme de travail (Fig. 12) il y a un exemple graphique de la constance du produit pression volume à l'intérieur de l'accumulateur.

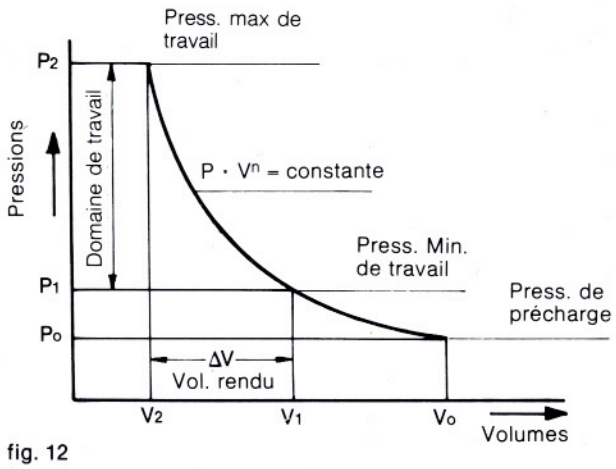


fig. 12

où:

V_o = Volume de l'azote à la pression précharge P_o (litres). Il est le volume maximal de gaz que l'accumulateur peut contenir et il coincide ou il est un peu inférieur a sa capacité nominale..

V_1 = Volume azote à la pression P_1 (litres)

V_2 = Volume azote à la pression P_2 (litres)

ΔV = Volume de liquide rendu ou accumulé (litres)

P_o = Pression de précharge (bar)

P_1 = Pression de travail minimale (bar)

P_2 = Pression de travail maximale (bar)

n = Exposant polytropique

La courbe de variation du volume par rapport à la pression dépend de l'exposant **n**, qui, pour l'azote, est compris entre les valeurs limites de:

n = 1 dans le cas ou la compression ou la décompression de l'azote a lieu si lentement qu'a lieu un complet échange thermique entre gaz et l'ambiance extérieure, c'est à dire qu'on travaille à température constante, ou a **transformation isothermique.**

n = 1,4 quand on travaille rapidement il n'y a aucune possibilité d'échange thermique avec l'ambiance extérieure. Dans ce cas on a la **transformation adiabatique.**

En réalité ces conditions idéales ne se produisent jamais.
Cependant on peut dire, raisonnablement, que dans l'usage de l'accumulateur comme compensateur de volume, compensateur de fuites ou de lubrification et compensateur de pression statique on travaille en régime de transformation isothermique. Dans les autres applications comme accumulateur d'energie, amortisseur de pulsations, propulseur en cas d'urgence, compensateur de pression dynamique, absorbeur de coups de bélier, amortisseur de chocs, ressort hydraulique, etc. on peut considérer, avec bonne approximation que l'accumulateur travaille en régime de transformation adiabatique.

Dans les cas où il faut un calcul plus précis, on peut utiliser les valeurs intermédiaires de **n** en fonction de **t**, c'est à dire de la durée de la compression ou de l'expansion, comme indiqué dans le diagramme (Fig. 13)

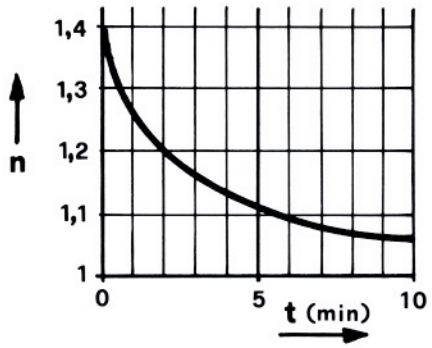


fig. 13

N.B. *Dans tous les calcules les pressions sont exprimée en* **bar absolus et les températures en degrés Kelvin.**

3.4 Calcul du volume en transformation isothermique

Avec **n = 1** la relation de Boyle et Mariotte devient:

$$P_o \cdot V_o = P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

d'où: $V_1 = V_o \cdot \frac{P_o}{P_1}$ e $V_2 = V_o \frac{P_o}{P_2}$

La différence entre le volume V_1 (à pression de travail mini.) et V_2 (à pression de travail max) donne la quantité de liquide accumulée (voir Chap. 1.1):

$$\Delta V = V_1 - V_2 = V_o \frac{P_o}{P_1} - V_o \frac{P_o}{P_2}$$

d'où:

$$\Delta V = V_o \left(\frac{P_o}{P_1} - \frac{P_o}{P_2} \right)$$

Le volume de l'accumulateur sera:

$$V_o = \frac{\Delta V}{\left(\frac{P_o}{P_1}\right) - \left(\frac{P_o}{P_2}\right)}$$

qu'on peut écrire:

$$V_o = \frac{\Delta V}{P_o \left(\frac{1}{P_1} - \frac{1}{P_2} \right)}$$

On mettra en évidence que le volume de l'accumulateur augmente avec l'augmentation de ΔV, avec la diminution de P_o et de la différence entre les deux pressions de travail P_1 et P_2.
Les valeurs de ΔV et V_o peuvent être tirées, plus rapidement, aussi avec l'aide des diagrammes de page 12 et 13.

3.4.1 Compensateur de volume (isothermique)

Un exemple typique de calcul en transformation isothermique on a dans l'emploi de l'accumulateur comme compensateur de volume.
Supposons une tubulure de Øi = 77.7 mm, longue 120 m, dans laquelle coule du pétrole à 10 bar de pression et à la température $\theta_1 = 10°C$ et $\theta_2 = 45°C$.

La variation de pression admise est ± 8%.

La variation de volume sera:

$$\Delta V = V_T (\theta_2 - \theta_1) (\beta \cdot 3\alpha)$$

$$= 596 (45 - 10) (0{,}00095 - 3 \cdot 0{,}000012) = 18{,}2 \text{ lt.}$$

où:

V_T = Volume de la tubulure (litres)
θ_2 = Température max (°C)
θ_1 = Température min (°C)
β = Coefficient dilatation cubique du fluide $(\frac{1}{°C})$
α = Coefficient dilatation linéaire de la tubulure $(\frac{1}{°C})$
P_1 = Pression de travail min permise (bar)
P_2 = Pression de travail max permise (bar)

avec:

$P_o = 0{,}9 \cdot 10 = 9$ bar
$P_1 = -8\%$ di 10 $= 9{,}2$ bar
$P_2 = +8\%$ di 10 $= 10{,}8$ bar

Le volume nécessaire sera:

$$V_o = \frac{\Delta V}{\frac{P_o}{P_1} - \frac{P_o}{P_2}} = \frac{18{,}2}{\frac{10}{10{,}2} - \frac{10}{11{,}8}} = 137 \text{ litres}$$

La solution du problème demande l'application d'une batterie de 3 accumulateurs du type **AS 55 P 280...**

3.4.2 Compensateur de fuites (isothermique)

a) Une presse travaille à 200 bar et elle doit maintenir pour tout le temps de vulcanisation le moule fermé avec pression constante.
La pression minimale permise est 198 bar. Après fermeture du moule la pompe d'alimentation est arrêtée.
La fuite d'huile est de l'ordre de 2 cm^3/min..
La durée de la vulcanisation est de 60 min.

$$\Delta V = Q_l \cdot t = 0{,}002 \times 60 = 0{,}12 \text{ litres}$$

$P_o = 0{,}9 \cdot 198 = 178$ bar
$P_1 = 198$ bar
$P_2 = 200$ bar

$$V_o = \frac{\Delta V}{\frac{P_o}{P_1} - \frac{P_o}{P_2}} = \frac{0{,}12}{\frac{179}{199} - \frac{179}{201}} = 13{,}41 \text{ litres}$$

La capacité en excès de l'accumulateur standard plus proche à la valeur calculée est de **15 litres**.

b) Si on veut calculer après combien de temps la pompe doit intervenir pour la recharge de l'accumulateur de 15 litres pour maintenir les conditions de **a**), nous aurions:

$$t = \frac{\Delta V}{Q_l}$$

V_o = 14.5 lt. d'azote pour l'accumulateur AS15P280 (voir page 18).

où:

$$\Delta V = V_o \left[\frac{P_o}{P_1} - \frac{P_o}{P_2}\right]$$

$$= 14{,}5 \left[\frac{179}{199} - \frac{179}{201}\right] = 0{,}13 \text{ litre}$$

et donc:

$$t = \frac{0{,}13}{0{,}002} = 65 \text{ min}$$

3.5 Calcul du volume en transformation adiabatique

Nous partons de la variation fondamentale

$$P_o \cdot V_o^n = P_1 \cdot V_1^n = P_2 \cdot V_2^n$$

et comme pour le calcul isothermique nous avons:

$$\Delta V = V_o \left[\left(\frac{P_o}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{P_o}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}}\right] \qquad \text{où } \frac{1}{n} = 0{,}7143$$

$$V_o = \frac{\Delta V}{\left(\frac{P_o}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{P_o}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}}}$$

Les formules sont conformes lorsque l'on travaille en transformation adiabatique, soit en phase d'expansion, soit en phase de compression.
Il faut tenir compte encore du débit de l'accumulateur et donc le calcul est influencé soit par la pression soit par la température de travail (Voir Chap 3.6 et 3.7).
Les valeurs de ΔV et V_o peuvent être tirees, plus rapidement, aussi avec l'aide des diagrammes des pages 14 et 15.

3.6 Effet de la température

Si on sait que la température de travail de l'accumulateur pourra avoir une amplitude considérable, il faut tenir compte de cette amplitude de variation dans le calcul du volume.

En effet il est évident que si les calculs sont faits à la température maximale, aussi la pression de pré-charge sera rapportée à la même température; lorsque la température baisse nous aurons une réduction de la pression de pré-charge en accord avec la loi de **Gay Lussac** concernant le rapport entre pressions et volumes, en conséquence, une **capacité d'accumulation inférieure.**

Il sera donc necessaire d'avoir un volume V_o plus grand pour accumuler ou rendre la même quantité de liquide ΔV. (Voir Chap. 3.4).

La corrélation entre volumes et températures est:

$$V_{oT} = V_o \frac{T_2}{T_1}$$

ou:

T_2 = θ_2 (°C) + 273 = temp. max de travail (°K)

T_1 = θ_1 (°C) + 273 = temp. min de travail (°K)

V_o = Volume calculé sans tenir compte de la variation thermique (lt)

V_{ot} = Volume majoré pour la variation thermique (lt)

Exemple:

Il faut calculer le volume de l'accumulateur avec les données suivantes:

Volume de débit ΔV = 1,7 lt. en 2 secondes

Pression min P_1 = 50 bar

Pression max P_2 = 115 bar

Température de travail = +25°C ÷ +70°C

La pression de précharge rapportée à la température max est:

$P_o = 0{,}9P_1 = 45$ bar

Le volume, calculé en transformation adiabatique, sera:

$$V_o = \frac{\Delta V}{\left(\frac{P_o}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{P_o}{P_2}\right)^{\frac{1}{n}}} = \frac{1{,}7}{\left(\frac{46}{51}\right)^{1.7143} - \left(\frac{46}{116}\right)^{0.7143}} = 4{,}12 \text{ lt.}$$

En tenant compte de la température on a:

$$V_{oT} = V_o \frac{T_2}{T_1} = 4{,}12 \frac{343}{298} = 4{,}74 \text{ lt.}$$

La pression de précharge à 20°C sera:

$$P_{o(20°C)} = 46 \times \frac{293}{343} = 39{,}3 \text{ bar ass.} = 38{,}3 \text{ bar relatif.}$$

L'accumulateur est du type **AS5P290....**

3.7 Coefficient de correction pour hautes pressions

Avec l'augmentation de la pression de travail le comportement de l'azote industriel utilisé dans les accumulateurs s'écarte par rapport au gaz idéal pour lequel les formules sont conformes.
Il faut en tenir compte pour les pressions de travail $P_2 > 200$ bar, soit pour la transformation isothermique, soit pour la transformation adiabatique.

Coefficient de correction isothermique C_i

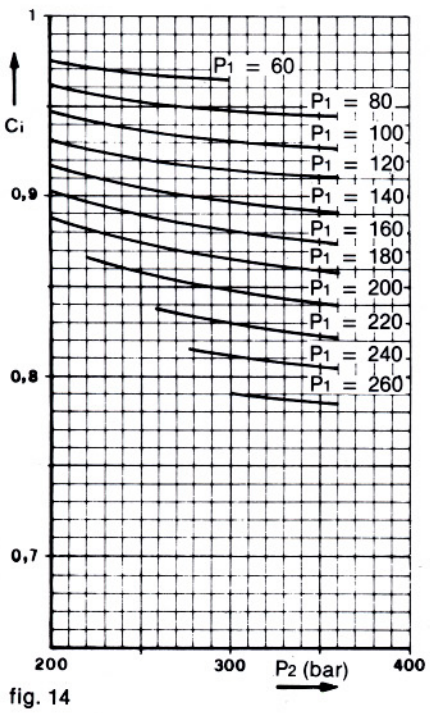


fig. 14

Coefficient de correction adiabatique C_a

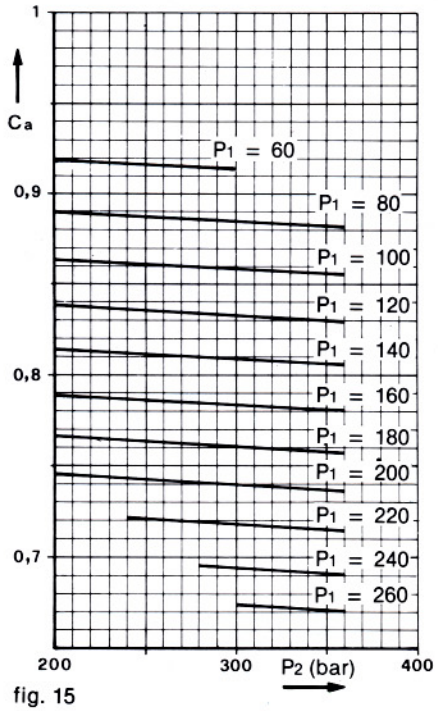


fig. 15

La valeur de **V_o** devient:

$$V_{or} = \frac{V_o}{C_i} \text{ (isothermique)}$$

$$V_{or} = \frac{V_o}{C_a} \text{ (adiabatique)}$$

La valeur d'accumulation ΔV devient:

$$\Delta V_r = \Delta V \cdot C_i \text{ (isothermique)}$$

$$\Delta V_r = \Delta V \cdot C_a \text{ (adiabatique)}$$

où:

V_{or} = Volume réel de l'accumulateur à utiliser pour les pressions de travail P_1 et P_2.

ΔV_r = Débit réel obtenu de l'accumulateur pour les mêmes pressions.

C_i, C_a = Coefficients obtenus avec l'aide des diagrammes de Fig. 14 et 15.

3.8 Réserve d'énergie de secours

Un cas typique lorsque l'accumulation est lente (isothermique) et le débit rapide (adiabatique).

Le volume est donné par:

$$Vo = \frac{\Delta V}{\left(\frac{Po}{P2}\right)^{\frac{1}{nc}} \cdot \left[\left(\frac{P2}{P1}\right)^{\frac{1}{n}} - 1\right]}$$

et le débit par:

$$\Delta V = Vo\left(\frac{Po}{P2}\right)^{\frac{1}{nc}} \cdot \left[\left(\frac{P2}{P1}\right)^{\frac{1}{n}} - 1\right]$$

où:
n = **1,4** coefficient adiabatique (phase de débit rapide)

nc = **1 ÷ 1,4** coefficient polytropique (phase de charge lente)

La valeur est fonction du temps et peut être dérivée du diagramme en fig. 13.

Dans la majorité des cas, il est possible d'admettre que **nc = 1**, ce qui simplifie le calcul et n'affecte pas le résultat:

$$Vo = \frac{\Delta V \frac{P2}{Po}}{\left(\frac{P2}{P1}\right)^{0,7143} - 1} \quad ; \quad \Delta V = Vo\,Po\,\frac{\left(\frac{P2}{P1}\right)^{0,7143} - 1}{P2}$$

Exemple:
Un accumulateur doit rendre 4,6 litres d'huile en 3 secondes avec un changement de pression de P2 = 280 bar à P1 = 220 bar. Le temps de charge est de 4 minutes. Définissons la capacité, en tenant compte du fait que la temperature ambiante va s'élever de 20°C à 50°C.

$$Vo = \frac{\Delta V}{\left(\frac{Po}{P2}\right)^{\frac{1}{1,1}}\left[\left(\frac{P2}{P1}\right)^{\frac{1}{1,4}} - 1\right]}$$

$$= \frac{4,6}{\left(\frac{199}{281}\right)^{0,9091}\cdot\left[\left(\frac{281}{221}\right)^{0,7143} - 1\right]} = 33,63 \text{ lt}$$

P1 = 221 bar absolu.
P2 = 281 bar absolu.
Po = 0,9x220 = 198 = 199 bar absolu.
n = 1,4
nc = 1,1 (de Fig. 13)
T1 = (273+20) = 293°K
T2 = (273+50) = 323°K

En considérant le coefficient de correction pour les hautes pressions et la variation de température, nous obtenons:

$$VoT = \frac{Vo}{Cm} \times \frac{T2}{T1} = \frac{33,63}{0,777} \times \frac{323}{293} = 47,7 \text{ lt}$$

où:

Ca = 0,72
Ci = 0,834

$$Cm = \frac{Ca + Ci}{2} = 0,777$$

La pression de pré-charge à 20°C sera:

$$Po_{(20°C)} = 199 \times \frac{293}{323} = 180,5 \text{ bar} = 179.5 \text{ bar rel.}$$

L'accumulateur sera du type **AS55 P 280**

3.9 Compensateur de pulsations

Un calcul typique dans des conditions adiabatiques dues à une accumulation et un débit à grande vitesse.
La quantité de liquide ΔV à prendre en compte dans le calcul est fonction du type et de la capacité de la pompe.

$$\Delta V = K \cdot q$$

Le volume devient:

$$Vo = \frac{K \cdot q}{\left(\frac{Po}{P1}\right)^{0,7143}\left(\frac{Po}{P2}\right)^{0,7143}}$$

où:

q = cylindrée de la pompe (litres)
= AxC (surface du piston x course)
$= \frac{Q}{n} = \frac{\text{débit pompe (l/mn)}}{\text{coups/mn.}}$
P = pression moyenne de service (bar)
P1 = P-X (bar)
P2 = P+X (bar)
$X = \frac{\alpha \cdot P}{100}$ (bar) écart de la pression moyenne
α = pulsation residuelle ± (%)
K = coefficient tenant compte du nombre de pistons et s'il s'agit d'une pompe à simple ou à double effet.

Type de pompe	K
1 piston, simple effet	0.69
1 piston, double effet	0.29
2 pistons, simple effet	0.29
2 pistons, double effet	0.17
3 pistons, simple effet	0.12
3 pistons, double effet	0.07
4 pistons, simple effet	0.13
4 pistons, double effet	0.07
5 pistons, simple effet	0.07
5 pistons, double effet	0.023
6 pistons, simple effet	0.07
6 pistons, double effet	0.023

Exemple:
Prenez une pompe à 3 pistons, à simple effet, avec un débit Q = 8m3/h et travaillant à une pression de 20 bar. Calculez le volume nécessaire pour limiter la pulsation résiduelle à α = ± 2,5 %. Pompe à 148 t/mn. Température de travail à 40°C.

P = 20 bar
P2 = (20 – 0,5) = 19,5 bar
P2 = (20 + 0,5) = 20,5 bar
Po = (0,7 · 20) = 14 bar

$q = \frac{8000}{60x148x3} = 0,3$ lt.
K = 0,12
$X = \frac{2,5x20}{100} = 0,5$ bar

$$Vo = \frac{0,12 \times 0,3}{\left(\frac{15}{20,5}\right)^{0,7143}\left(\frac{15}{21,5}\right)^{0,7143}} = 1,345 \text{ lt.}$$

$$Po_{(20°C)} = 15 \times \frac{293}{313} = 14 \text{ bar ass.} = 13 \text{ bar rel.}$$

L'accumulateur le mieux adapté est le type à basse pression:
AS1,5 P 50

3 Choix de l'accumulateur

3.10 Absorbeur du coup de belier

D'une manière générale, on désigne par coup de bélier une augmentation forte et abrupte de la pression, provoquée par une accélération ou décélération brusque de la colonne de liquide se produisant dans une tuyauterie.
La surpression, **ΔP max**, créée dans la tuyauterie lors de la fermeture de la soupap, dépend de la longeur de la tubulure, de la vitesse, du débit, de la vitesse du fluide et du temps de fermeture de l'organe générateur du coup de bélier. La valeur est obtenue par:

$$\Delta P \text{ max (bar)} = \frac{2\,\gamma\,L\,v}{t \times 10^5}$$

Le volume de l'accumulateur nécessaire pour la limitation de la surpression à l'interieur d'une valeur prédéterminée par ΔP , est calculé de la manière suivante:

$$Vo = \frac{\frac{Q}{7.2}\left(\frac{2\,\gamma\,L\,v}{\Delta P \times 10^5} - t\right)}{\left(\frac{Po}{P_1}\right)^{0,7143} - \left(\frac{Po}{P_2}\right)^{0.7143}}$$

où:

Vo = volume de gaz effectif de l'accumulateur (litres)
Q = débit de la canalisation (m^3/h)
L = longeur totale de la tuyauterie (m)
γ = masse specifique du liquide (kg/m^3)
$v = \frac{Q}{S} \times \frac{10^3}{3,6}$ = vitesse d'écoulement (m/s)
$S = \frac{\pi d^2}{4}$ = section interne de la tuyauterie (mm^2)
d = diamètre interne de la tuyauterie (mm)
ΔP = surpression admissible (bar)
P1 = pression de service pendant le libre débit (bar absolus)
P2 = P1 + ΔP = pression maximum admissible (bar absolus)
t = temps de fermeture de l'organe générateur de coup de bélier (s)

Exemple:

Prenons une conduite d'eau (γ = 1.000 kg/m^3), avec un diamètre intérieur d = 80 mm, une longeur L = 450 m, un débit Q = 17 m^3/h, une pression de service en débit libre P1 = 5 bar, une surpression admissible ΔP = 2 bar et une fermeture de soupape en 0,8 s.

$$\Delta P \text{ max} = \frac{2 \times 1000 \times 450 \times 0.94}{0.8 \cdot 10^5} = 10.57 \text{ bar}$$

Il en résulte le volume de l'accumulateur Vo suivant

$$Vo = \frac{\frac{17}{7.2}\left(\frac{2 \times 1000 \times 450 \times 0.94}{2 \times 10^5} - 0.8\right)}{\left(\frac{5.5}{6}\right)^{0.7143} - \left(\frac{5.5}{8}\right)^{0.7143}} = 46.4 \text{ lt.}$$

où: $S = \frac{\pi \times 80^2}{4} = 5026,5 \text{ mm}^2$

$$v = \frac{17 \times 10^3}{5026,5 \times 3,6} = 0,94 \text{ m/s}$$

Po = 5 x 0,9 = 4,5 bar = 5,5 bar absolus
P1 = 6 bar absolus
P2 = 5 + 2 = 7 bar = 8 bar absolus

Il convient donc d'utiliser un accumulateur basse pression d'une capacité de 55 litres du type**AS55P...**

3.11 Accumulateur + bouteilles additionnelles (transfert)

Dans tous les cas ou il faut obtenir une importante quantité de liquide avec un petit écart entre P1 et P2, le volume Vo qui en résulte est plutôt grand par rapport au ΔV;
Il peut être convenable dans ces cas d'arriver au volume d'azote désiré avec des bouteilles additionnelles.
Le calcul du volume, en fonction de l'usage, soit en transformation isothermique que adiabatique, est fait avec les formules vues avant, en tenant compte toujours de la température.
Pour avoir le maximum de débit il faut définir pour la pré-charge une valeur très haute.
Dans les cas de **réserve d'énergie, compensateur de volume, absorbeur du coup de bélier,** etc... il est possible d'user:

$$Po = 0,97\ P_1$$

Après calcul du volume de gaz nécessaire il faut répartir entre la partie mini. indispensable VA, qui sera contenue dans l'accumulateur, et le restant qui représente le volume des bouteilles additionnelles.

$$V_{oT} = V_{oA} + V_{oB}$$

où:

$$V_{oA} \geq \frac{\Delta V + (V_{oT} - Vo)}{0,75}$$

C'est à dire la somme du volume de liquide nécessaire plus la variation de volume due à la température doit être **inférieure à 3/4 de la capacité de l'accumulateur.**
Le volume des bouteilles est donné par la différence.

$$V_{oB} = V_{oT} - V_{oA}$$

Exemple:

Nous désirons en 2 sec un ΔV = 30 lt, en passant d'une pression P2 = 180 bar à P1 = 160 bar.
La température: θ1 = 20°C; θ = 45°C.

$$Po_{(50°C)} = 0,97 \times 160 = 155 \text{ bar}$$

$$Vo = \frac{\Delta V}{\left(\frac{Po}{P_1}\right)^{0,7143} - \left(\frac{Po}{P_2}\right)^{0,7143}}$$

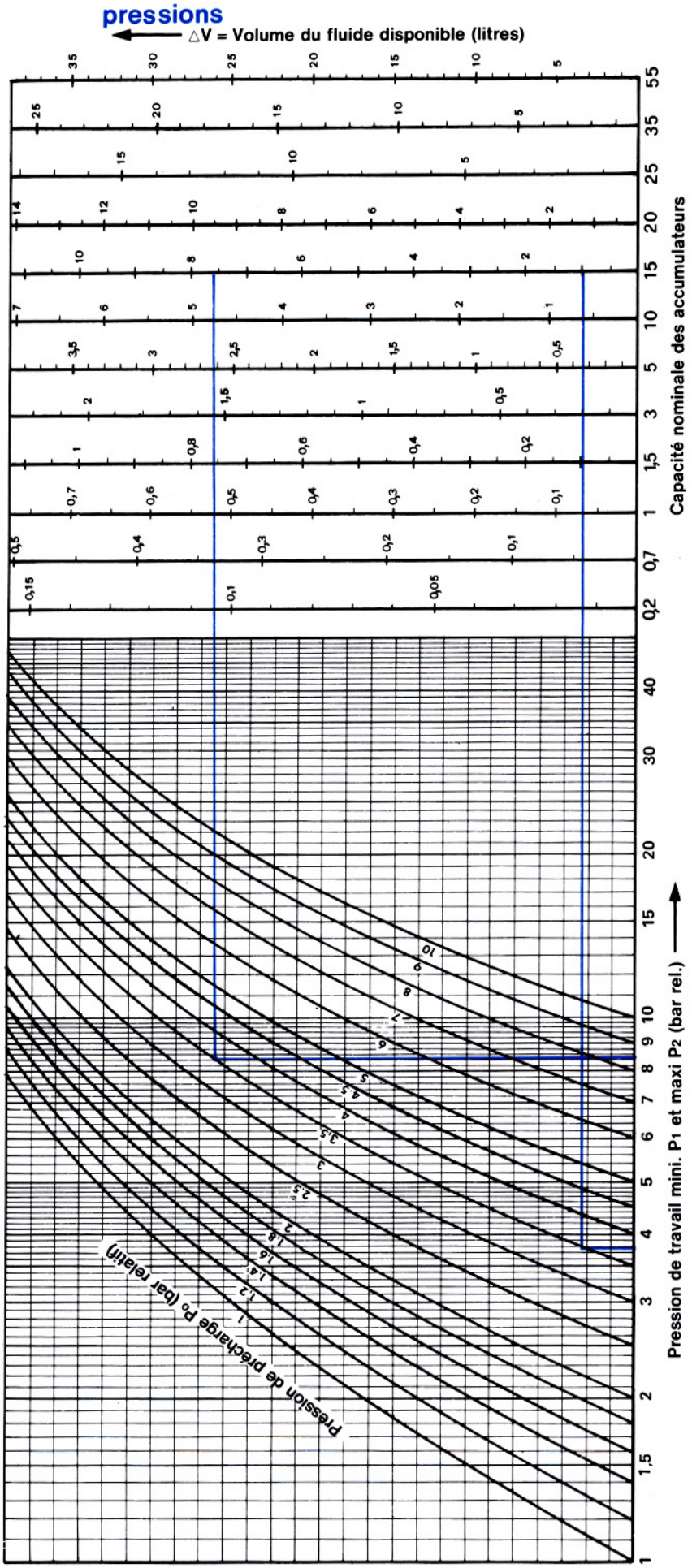
$$= \frac{30}{\left(\frac{156}{161}\right)^{0,7143} - \left(\frac{156}{181}\right)^{0,7143}} = 382,4 \text{ lt.}$$

$$V_{oT} = 382,4 \times \frac{318}{293} = 415 \text{ lt.}$$

$$V_{oA} = \frac{30 + (415 - 382,4)}{0,75} = 83,5 \text{ lt.}$$

On adopte 2 acc. **AS55P280** avec Vo total = 100 lt + **6 bouteilles de 50 lt.**

3.12.1 Détermination du volume en transformation isothermique – abaque basses pressions


ΔV = Volume du fluide disponible (litres)
Capacité nominale des accumulateurs
Pression de travail mini. P1 et maxi P2 (bar rel.)
Pression de précharge Po (bar relatif)

Exemple I:
Détermination du volume de l'accumulateur

Données:
Pression maxi de travail **P2 = 8,5 bar**
Pression mini. de travail **P1 = 3,8 bar**
Pression de pre-charge **Po = 3,5 bar**
Volume de liquide nécessaire **ΔV = 1,3 litres**

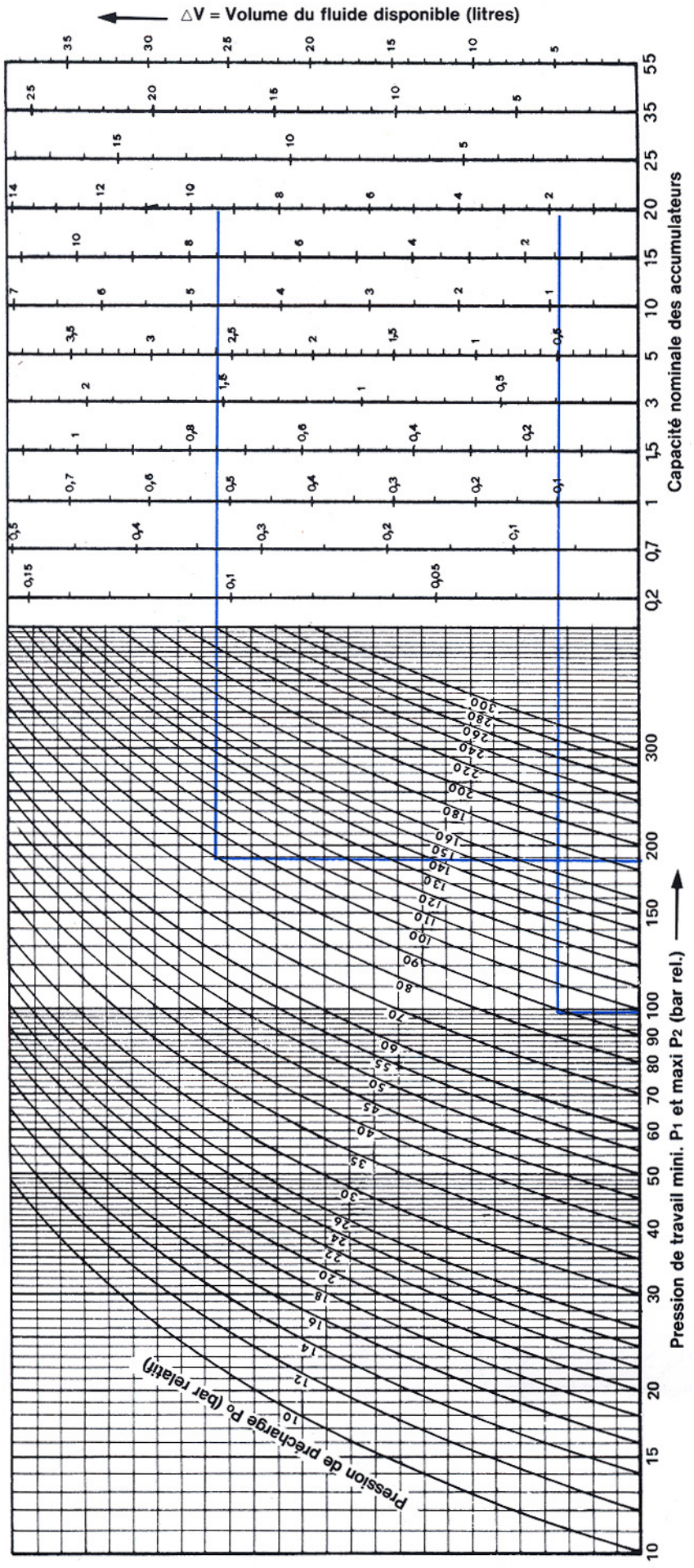
A partir des 2 points d'intersection de la courbe de Po = 3,5 avec les ordonnées de P1 = 3,8et P2 = 8,5, tracer 2 lignes droites parallèles à l'axe des abscisses jusqu'à l'intersection avec les échelles du ΔV.
Le volume de débit, pour chaque capacité, est celui compris entre les deux lignes droites tracées. Dans notre cas l'accumulateur qui donne le débit plus proche à la demande, c'est-a-dire 1,3 lt, a la capacité **de 3 litres.**

Exemple II:
Détermination du liquide disponible ΔV

Données:
Pression max de travail **P2 = 8,5 bar**
Pression min de travail **P1 = 3,8 bar**
Pression de pré-charge **Po = 3,5 bar**
Volume de l'accumulateur **V = 15 litres**

A partir des 2 points d'intersection de la courbe de Po = 3,5 avec les ordonnées de P1 = 3,8 et P2 = 8,5, tracer 2 lignes droites parallèles à l'axe des abscisses jusqu'à l'intersection de l'échelle du V relatif à 15 litres.
Le volume de débit, compris entre les deux lignes droites, est ~ **6,7 litres.**

3.12.2 Détermination du volume en transformation isothermique—abaque hautes pressions


ΔV = Volume du fluide disponible (litres)
Capacité nominale des accumulateurs
Pression de travail mini. P1 et maxi P2 (bar rel.)
Pression de précharge Po (bar relatif)

Exemple I:
Détermination du volume de l'accumulateur

Données:
Pression maxi de travail P_2 = **190 bar**
Pression mini. de travail P_1 = **100 bar**
Pression de précharge P_o = **90 bar**
Volume de liquide démandé ΔV = **7 litres**

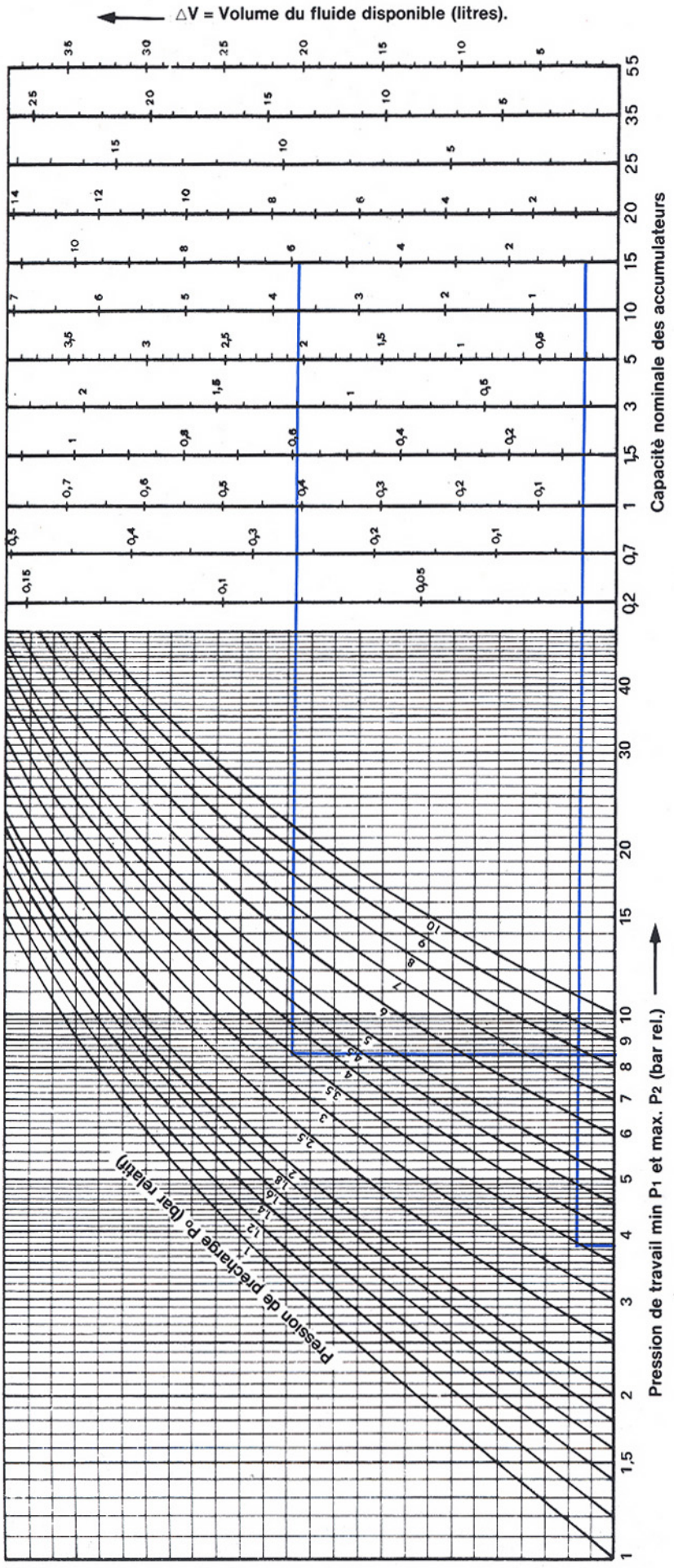
A partir des 2 points d'intersection de la courbe de P_o = 90 avec les ordonnées de P_1 = 100 et P_2 = 190, tracer 2 lignes droites parallèles à l'axe des abscisses jusqu'à l'intersection avec les échelles du ΔV.
Le volume de débit, pour chaque capacité, est celui compris entre les deux lignes droites tracées. Dans notre cas l'accumulateur qui donne le débit plus proche à la demande, c'est-a-dire $\geqslant$ 7 litres, a la capacité de **20 litres.**

Exemple II:
Détermination du liquide disponible ΔV

Données:
Pression maxi de travail P_2 = **190 bar**
Pression mini. de travail P_1 = **100 bar**
Pression de précharge P_o = **90 bar**
Volume de l'accumulateur V = **1,5 litres**

A partir des 2 points d'intersection de la courbe de P_o = 90 avec les ordonnées de P_1 = 100 et P_2 = 190, tracer 2 lignes droites parallèles à l'axe des abscisses jusqu'à l'intersection de l'échelle du V relatif à 1,5 litres.
Le volume de débit, compris entre les deux lignes droites, est d'environ **0.615 litres.**

3.13.1 Détermination du volume en transformation adiabatique-abaque basses pressions


ΔV = Volume du fluide disponible (litres).
Capacité nominale des accumulateurs
Pression de travail min P1 et max. P2 (bar rel.)
Pression de précharge Po (bar relatif)

Exemple I
Détermination du volume de l'accumulateur

Données:
Pression maxi de travail **P2 = 8,5 bar**
Pression mini. de travail **P1 = 3,8 bar**
Pression de précharge **Po = 3,5 bar**
Volume de liquide demandé **ΔV = 1,3 litres**

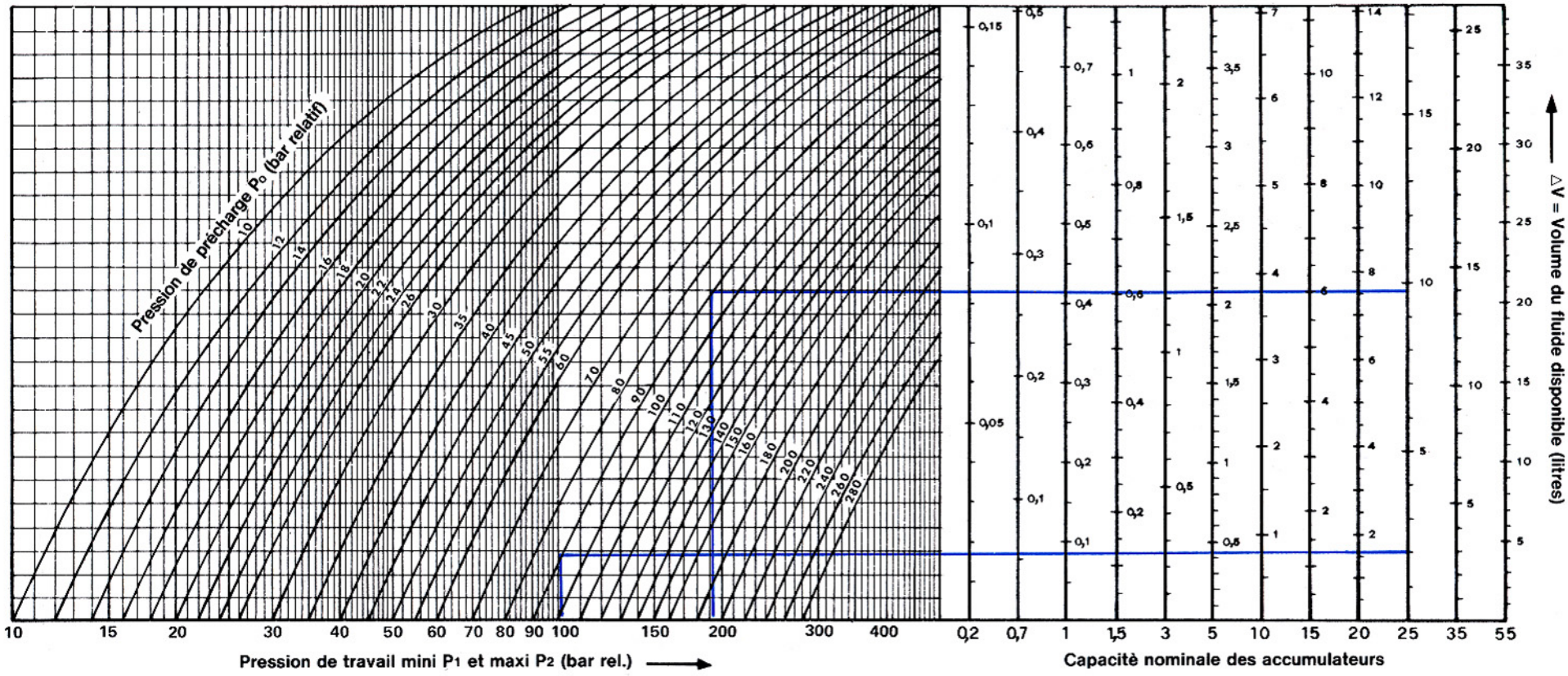
A partir des 2 points d'intersection de la courbe de Po = 3.5 avec les ordonnées de P1 = 3,8 et P2 = 8,5 tracer 2 ligne droites parallèles à l'axe des abscisses jusqu'à l'intersection avec les échelles du ΔV.
Le volume de débit, pour chaque capacité, est celui compris entre les deux lignes droites tracées.
Dans notre cas l'accumulateur qui donne le débit plus proche de la demande, c'est-a-dire ⩾ 1,3 litre, a la capacité de **5 litres.**

Exemple II:
Détermination du liquide disponible ΔV

Données:
Pression maxi de travail **P2 = 8,5 bar**
Pression mini de travail **P1 = 3,8 bar**
Pression de précharge **Po = 3,5 bar**
Volume de l'accumulateur **V = 15 litres**

A partir des 2 points d'intersection de la courbe de Po = 3,5 avec les ordonnées de P1 = 3,8 et P2 = 8,5, tracer 2 lignes droites parallèles à l'axe des abscisses jusqu'à l'intersection de l'échelle du V, relatif à 15 litres.
Le volume de débit, compris entre les deux lignes droites, est d'environ **5.3 litres.**

3.13.2 Détermination du volume en transformation adiabatique-abaque hautes pressions



Exemple I
Détermination du volume de l'accumulateur

Données:

Pression max de travail	P_2	= **190 bar**
Pression min de travail	P_1	= **100 bar**
Pression de pré-charge	P_o	= **90 bar**
Volume de liquide demandé	ΔV	= **7 litres**

A partir des 2 points d'intersection de la courbe de $P_o = 90$ avec les ordonnées de $P_1 = 100$ et $P_2 = 190$, tracer 2 lignes droites parallèles à l'axe des abscisses jusqu'à intersection des échelles du ΔV.
Le volume de débit, pour chaque capacité, est celui qui donne le débit le plus proche à la demande, c'est-a-dire $\geqslant$ 7 lt, a la capacité de **25 litres.**

Exemple II:
Détermination du liquide disponible ΔV

Données:

Pression max de travail	P_2	= **190 bar**
Pression min de travail	P_1	= **100 bar**
Pression de pré-charge	P_o	= **90 bar**
Volume de l'accumulateur	V	= **1.5 litres**

A partir des 2 points d'intersection de la courbe de $P_o = 90$ avec les ordonnées de $P_1 = 100$ et $P_2 = 190$, tracer 2 lignes droites parallèles à l'axe des abscisses jusqu'à l'intersection avec l'échelle du V relatif à 1,5 litres.
Le volume de débit, compris entre les deux lignes droites, est de $\sim$ **0.49 litres.**

3.14 Débit

Après avoir défini la taille de l'accumulateur, suivant les indications données ci-dessus, il est nécessaire de vérifier si le débit exigé (l/mn) est compatible avec le débit admissible pour cet accumulateur, conformément au tableau suivant.
Le débit maximum peut être atteint avec un accumulateur installé en position verticale, la valve de gaz étant située en haut. Par ailleurs, il est indispensable qu'un volume résiduel de liquide >/= 0.1 x Vo reste dans l'accumulateur.

Type	Débit moyen (l/mn)	Débit maxi admissible (l/mn)
AS 0,2	70	160
AS 0,7-1-1,5	150	300
AS 3 - 5	300	600
AS 10 - 50	500	1000

3.15 Matières de vessie

L'élastomère choisi pour la vessie dépend du liquide devant être utilisé et des températures de fonctionnement (et à certains moments de l'accumulation). Dans le diagramme figurant ci-après, chaque élastomère est désigné par une lettre, laquelle indique, dans la référence de commande, les matières utilisées pour la vessie, les joints et les parties caoutchoutées. En ce qui concerne les liquides spéciaux, il est recommandé de prendre contact avec notre Service Technique.

Lettre Code	Elastomère	ISO	Plage de température (°C)	Voici quelques-uns des liquides compatibles avec les élastomères
P	Nitrile standard (perbunan)	NBR	-20 + 85	Huiles minérales, végétales, silicones, graissage, eaux industrielles, glycols, liquides, ininflammables (HFA-HFB-HFC), hydrocarbures aliphatiques, butane, gasoil, kérosène, fioul, etc.
F	Nitrile pour basse température	NBR	-40 + 70	Les mêmes qu'avec du nitrile standard, + un certain nombre de différents types de Fréon. (Celui-ci contient moins de nitrile acrylique que le standard et convient de ce fait mieux aux basses températures, mais sa résistance chimique est légèrement plus faible).
H	Nitrile pour hydrocarbures	NBR	-10 + 90	Carburant ordinaire et super légèrement aromatique, huile combustible lourde (et tous les liquides pour le nitrile standard)
K	Nitrile hydrogéné	HNBR	-30 +130	Les mêmes qu'avec le nitrile standard, mais avec une excellente performance, aussi bien à des températures basses qu'élevées.
A	Nitrile alimentaire	NBR	-20 + 85	Alimentaires (specifier le fluide utilisé à la commande)
B	Butyl	IIR	-30 +90	Esters phosphoriques (HRD-R), eau chaude, ammoniaque, soude caustique, quelques types de Fréon (22-31-502), liquides de frein à base de glycol, quelques acides, alcools, cétones, esters, skydrol 7000, etc.
E	Ethylène-propylène	EPDM	-20 + 90	Liquides de frein, eau chaude, liquides de lessivage, détergents, eau glycolée (HFC), de nombreux, acides et bases, solutions salines, skydrol 500, etc.
N	Chloroprène (Néoprene)	CR	-20 + 85	Fréon (12-21-22-113-114-115), eau et solutions aqueuses, ammoniaque, dioxyde de carbone, huiles minérales, de paraffine et de silicone.
Y	Epichlorydrine	ECO	-30 +110	Essence sans plomb, huiles minérales

3.16 Durabilité de la vessie

Afin de pouvoir faire un choix correct, il est essentiel de prendre en compte les conditions de fonctionnement dans lesquelles l'accumulateur va travailler, car celles-ci peuvent avoir une influence considérable sur la durabilité de la vessie. En admettant que le liquide utilisé est propre et compatible avec la matière de la vessie, il existe un certain nombre de facteurs qui peuvent affecter la durée de vie de celle-ci:

- **La pression de précharge Po**. Dans la plupart des cas, les valeurs recommandées en section 3.2 sont bonnes, bien que la vessie risque de cogner à chaque cycle contre la soupape au fur et à mesure qu'augmente la pression et surtout la vitesse du débit exigé. Dans ces cas, il est possible d'utiliser Po = 0,8 ÷ 0,7 P_1
- **Le ratio P2/Po**. Tout accroissement de ce ratio va augmenter les contraintes subies par la vessie dans chaque cycle. C'est seulement pour des applications spéciales qu'il est possible de dépasser le ratio P2/Po = 4 (à voir avec notre Service Technique).
- **La pression maxi de service P_2**. Toute augmentation de cette pression va constituer une contrainte plus importante pour la vessie.
- **Le débit**: Le débit n'a aucun effet sur la durée de la vie utile de la vessie, à condition que les valeurs moyennes indiquées dans le tableau 3.14 ne soient pas dépassées. Assurez-vous, lorsque vous vous approcherez des valeurs maxi., qu'il reste un volume résiduel de liquide >/= 10% du volume Vo dans l'accumulateur, aussi bien dans la phase de charge que de décharge.
- **La fréquence** ou le nombre de cycles par jour
- **L'installation**: La disposition recommandée est la position verticale avec la valve de gaz située sur le haut. En position horizontale, la vessie a tendance à frotter contre le corps de l'accumulateur. Cela pourrait avoir pour résultat une usure plus rapide et un rendement moindre.
- **La température de fonctionnement**. Ce facteur est l'un de ceux qui affecte le plus la durée de vie de la vessie: à une température très basse, la vessie tend à devenir friable; au fur et à mesure qu'augmente la température, atteignant ou dépassant les limites pour l'élastomère, la vessie est soumise à des contraintes à croissance exponentielle et pouvant conduire très rapidement à une fracturation.
  Il faut se rappeler que la température dans l'accumulateur est, dans beaucoup de cas, plus élevée que celle du système et qu'elle s'élève a chaque augmentation du P_2, P_2/P_1 et du volume de l'accumulateur (en d'autres termes, plus l'accumulateur est grand, moins il est capable de dissiper la chaleur).

  Tous les modèles de vessie EPE, en version nitrile caoutchouc standard P, ont été soumis au test de fatigue suivant: Po = 65 bar, P1 = 90 bar, P2 = 200 bar, fréquence 10 cycles/mn; température d'huile 45°C; longévité > à 10^6 cycles.

3.17 Matières de l'accumulateur

Dans la version standard, le corps est réalisé en acier au carbone et protégé extérieurement avec une couche de peinture antirouille, le corps de valve et la bouche à soupape sont en acier au carbone phosphaté .
Cette configuration convient pour les **fluides du groupe 2**, l'assemblage global est indiqué dans le code d'identification par la lettre **C** .
Pour applications spéciales, le corps , le corps de valve et la bouche à soupape en acier carbone sont revêtus de nickel, épaisseur minimale de 25 microns . Code d'identification par la lettre **N** (indiquer séparément les différentes épaisseurs) .

EPE ITALIANA construit aussi les accumulateurs avec des assemblages en acier inox (indiqué par la lettre **X**)

Sur demande spéciale, le corps de valve et la bouche à soupape peuvent être exécutés dans une matière différente que le corps . **Mais dans ce cas**, il est nécessaire d'ajouter au code d'identification la lettre spécifiant chaque protection (voir section 3.19)

3.18 Essais et certifications

Les accumulateurs sont des réservoirs sous pression soumis à des normes de constructions spécifiques aux Pays dans lesquels ils seront installés.
Pour tous les pays de l'**Union Européenne**, la conception, la construction et les épreuves des accumulateurs doivent être réalisés en conformité de la Directive des appareils à pression **97/23/CE** .
EPE ITALIANA, en vertu d'un système qualité adapté EN ISO 9001 : 2000 construit selon les modules **H et H1** en garantie de qualité totale et contrôle de la conception en relation avec l' Organisme Notifié .
La directive mentionnée ci-dessus comprend les appareils à pression qui excèdent 0,5 bar . Tous les accumulateurs sont concernés par cette directive, malgré différentes procédures d'essai et de certification .
Tous les accumulateurs, **jusqu'au volume 1 Litre inclus**, construits en conformité de la Directive 97/23/CE , ne portent pas de marquage CE, et la déclaration de conformité n'est pas fournie .
Pour tous volumes **supérieurs à 1 litre**, chaque accumulateur après avoir été testé, est estampillé avec le sigle **CE** suivi du numéro d'identification de l' Organisme Notifié .
Pour ces accumulateurs, de gamme haute et basse pression, la documentation nécessaire comprend la déclaration de conformité et le manuel d'utilisation .
EPE ITALIANA présente également les accumulateurs en accord avec la Directive **ATEX 94/9/CE** (clause VIII) et avec des règlements harmonisés EN 13463-1 relatifs à un équipement non électrique pour utilisation en environnement avec atmosphère potentiellement explosive qui sont inclus dans la classification ATEX CE Ⓔx II2GcT4

EPE ITALIANA présente également d'autres essais et certifications pour les pays dans lesquels la réglementation CE n'est pas acceptée .

- ASME - US pour les U.S.A , Canada, Afrique du Sud, etc..
- ML (ex SQL) pour la Chine .
- Australian Pressure Vessel Standard AS1210-1997 pour l'Australie
- GOST pour la Russie
- RINA et dans certains cas BS-L Lloyd's Register et Germanischer Lloyd pour la construction navale .
- Pour les pays pour lesquels aucun essai spécifique n'est exigé, les accumulateurs sont de toute manière construits selon la Directive Européenne , mais sans le marquage CE et avec épreuve usine seulement .

La documentation liée à chaque norme est normalement fournie sous enveloppe appropriée avec les matériels . Si elle n'est pas disponible, elle est adressée par la poste où autre moyen dès que possible .

Afin de définir correctement le prix et la disponibilité, **il est nécessaire de préciser dès l'origine la certification requise .**

3.19 Désignation

Pour la désignation, il convient d'assembler les codes : **type, capacité,matière vessie, pression de service,** ets.. uniquement parmi **ceux disponibles dans chaque gamme** d'accumulateurs (voir pages 18 ÷ 22) . La pression de précharge doit être indiquée séparément, tout comme la bride, un raccord de réduction coté liquide ou un adaptateur coté gaz .

AS	1,5	P	360	C	G	8	–		

type Accumulateur	Capacité nominale 1)	Matière vessie	Press. maxi de service	Matière corps et valves	Raccordement hydraulique	Epreuves et Certifications	Matière Bouche hydraulique 2)	Matière Valve gaz 2)
AS : Accumulateur à vessie (standard)	**Litres**	**P** = Nitrile standard (Perbunan)	3) **Bar**	**C** = Corps acier carbone peinture antirouille Valves : acier carbone phosphaté	**G** = Taraudage ISO 228	**O** = Epreuve Usine	- : Identique matière du corps	- : Identique matière du corps
AST : Accumulateur à vessie Transfert	0,2 - 0,7	**F** = Nitrile pour basse température	**360 - 550** (Haute pression acier carbone)	**N** = Corps acier carbone revêtu de Nickel (interne + externe) épaisseur 25 µm	**L** = pour Bride SAE 3000	**1**:GOST (RUSSIE)	**C** : Acier carbone Phosphaté	**C** : Acier carbone Phosphaté
ASL : Accumulateur à vessie séparateur de liquides	1 - 1,5	**H** = Nitrile pour hydrocarbures	**360 - 100** (Haute pression acier inox)	**X** = Acier Inox	**H** = pour Bride SAE 6000	**2** :AUSTRALIAN PRESSURE VESSEL STANDARD (AUSTRALIE)	**N** : Acier carbone Revêtu Nickel Epaisseur 25 µm	**N** : Acier carbone Revêtu Nickel Epaisseur 25 µm
	3 - 5	**K** = Nitrile hydrogéné	**80 - 30** (Basse pression acier carbone)	**V** = Corps acier carbone revêtu Peinture spéciale (à spécifier)	**M** = Taraudage Métrique	**3** :ML (ex SQL) (CHINE)	**X** : Acier Inox	**X** : Acier Inox
	10 - 15	**A** = Alimentaire	**40 - 25** (Basse pression acier inox)		**P** = Taraudage NPT	**4** : RINA		
	20 - 25	**B** = Butyl	4) **Psi**		**S** = Taraudage SAE 5)	**5** : BS-LLOYD'S REGISTER		
	35 - 55	**E** = Ethylène-propylène	**4000**		**R** = Avec Réduction 5)	**6**:GERMANISCHER LLOYD		
ASA : Accumulateur à vessie ASME - U.S	**Gallons**	**N** = Chloroprène (Néoprène)			**F** = Avec Bride 5)	**7** : ASME - US (U.S.A)		
ASAT: Accumulateur Transfert pour ASME - U.S	1/4 - 1	**Y** = Epichlorydrine				**8** : 97/23/CE (EUROPE)		
ASAL : Séparateur liquides pour ASME - U.S	2,5 - 5					**9** : ATEX 94/9/CE		
	10 - 15					**10** : Autres (à nous préciser)		

1) Capacité en gallons uniquement pour la série ASME U. S
2) Spécifier les deux seulement lorsque un des deux au moins est réalisé dans une matière différente du corps de l'accumulateur
3) Utiliser la valeur appropriée parmi celles indiquées pages 18÷21 relatives à la version choisie
4) Pression en Psi uniquement pour la série ASA
5) A indiquer en entier à coté du code d'identification

Sous réserve de modifications